DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-5>
УДК 629.12

В.А. Кулеш, Фам Чунг Хиеп

КУЛЕШ ВИКТОР АНАТОЛЬЕВИЧ – д.т.н., профессор (автор, ответственный за переписку),
SPIN: 7640-8891, ScopusID: 6701344400, vkulesh@mail.ru
ФАМ ЧУНГ ХИЕП – аспирант, phiepast07@gmail.com
Политехнический институт
Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия

Методика расчета параметров взаимодействия судов с грунтом

Аннотация: Взаимодействия судов с грунтом могут быть аварийные и эксплуатационные. Аварии с посадкой судов на грунт чаще связаны с навигационными ошибками, характеризуются сравнительно высокими скоростями движения и значительными повреждениями корпусов, вплоть до переломов. Эксплуатационные взаимодействия судов с грунтом часто происходят при отсутствии поступательной скорости в процессе осушения из-за отливов в местах грузовых операций. В необходимых случаях суда сохраняют сравнительно небольшие скорости движения. Правила ряда классификационных обществ регламентируют уровень прочности корпусов таких судов и присваивают им соответствующие знаки в символе класса, например NAABSA. Однако, по нашему мнению, в методики анализа параметров безопасного взаимодействия судов с грунтом необходимо внести изменения. В частности, это касается учета и ограничения скоростей движения судов в момент контакта с грунтом для снижения усилий взаимодействия. В работе предложена авторская методика оценки параметров взаимодействия с грунтом движущегося судна в квазистатической постановке. Выполнен анализ влияния основных параметров. Отмечена возможность применения методики на стадии проектирования и в эксплуатации судов.
Ключевые слова: корпус судна, взаимодействие судна с грунтом, методика расчета параметров

Введение

Методические основы российской системы классификации специализированных судов со знаком символа NAABSA (Not Always Afloat But Safely Aground – не всегда на плаву, но безопасно на грунте) изложены в [1]. В Правилах Российского морского регистра судоходства (далее Правила РС) [6] специальный раздел в отношении судов, взаимодействующих с грунтом, появился в 2017 году. Аналогичные разделы имеют иностранные классификационные общества, например норвежский DNV [10] и французский BV [11]. В работе [5] был выполнен сравнительный анализ указанных Правил, который показал некоторые преимущества российской регламентации.

Десантные корабли контактируют с грунтом на существенных скоростях, но имеют ограниченный ресурс. Однако опыт их проектирования и эксплуатации [3] важно использовать и для гражданских судов.

В настоящее время интерес судовладельцев к повышению надёжности судов, взаимодействующих с грунтом, растет, появляются работы по расчетным обоснованиям специальных усиления корпусов [2, 4]. Однако методическое обеспечение таких работ требует развития, особенно в части учета скоростей движения при планируемых операциях десантирования и осушения судов. Исследования в этой области преимущественно ориентированы на аварийные сценарии посадки судов на грунт.

Постановка задачи

Правила РС дифференцируют знаки символа класса судов:

NAABSA1 – допускается частичное или полное осушение подводной части корпуса на ровных однородных грунтах при отсутствии поступательного движения в закрытых от волнения акваториях;

NAABSA2 – в дополнение к условиям для знака NAABSA1 допускается наличие поступательного движения и начального контакта носовой части днища с грунтом.

Носовая вертикальная реакция грунта, кН,

$$R_N^m = g \Delta_N \left[\frac{\operatorname{tg}(\psi_N - \psi_0 - \psi_s - \psi_{0N})}{6} \cdot \frac{L}{d_N} \right] + R_{0N}, \quad (1)$$

где $\Delta_N = D$ – весовое водоизмещение судна, т; L и d_N – расчетная длина и осадка судна на миделе, м; ψ_N – угол наклона грунта вдоль судна; ψ_0 и ψ_s – углы конструктивного и эксплуатационного дифферента судна; ψ_{0N} – угол дифферента судна за счет посадки на грунт с ходу; R_{0N} – носовая реакция за счет посадки на грунт с ходу.

Полагается, что входящие в (1) параметры определяются расчетами процессов первичного контакта – с ходу, последующего осушения и всплытия судна с грунта. Методика расчёта параметров R_{0N} и ψ_{0N} в Правилах отсутствует.

В технической литературе диапазон решений подобных задач широк – от численных расчетов с учетом динамики и вибрации [8, 9] до простых эмпирических формул. Например, в [12] такая формула для силы взаимодействия представлена в виде

$$F = 0,98 \frac{m^{0,5} v}{8,22}, \quad (2)$$

где m – масса судна; v – вертикальная компонента скорости судна.

Основное внимание при этом уделено аварийным сценариям взаимодействия судов с грунтом. Эксплуатационные сценарии отличаются меньшими скоростями и выбором соответствующих пляжей (условий) для таких операций. На рис. 1 показана система координат с началом в точке первичного касания грунта и основные параметры. Судно заданных размеров движется с поступательной скоростью и обладает начальной кинетической энергией. Углы конструктивного и эксплуатационного дифферента полагаются равными нулю, что наиболее неблагоприятно.

Рис. 1. Система координат и параметры судна при десантировании на грунт.
Здесь и далее рисунки авторов

В процессе контакта судно перемещается в горизонтальном и вертикальном направлениях. Кинетическая энергия расходуется и переходит в другие виды энергии. Параметры движения и посадки судна изменяются вплоть до его остановки.

Задача решается в квазистатической постановке, колебания и вибрация корпуса не учитываются. Полагается, что период взаимодействия с грунтом значительно больше периода свободных колебаний корпуса и его конструкций.

Точка А является центром приложения вертикальной реакции и практически не меняет своего положения на корпусе судна. При заданном смещении точки А вдоль оси Z из условий равновесия сил и моментов, заложенных в формулу Правил РС (1), можно записать:

– для вертикальной реакции

$$R_N = \Delta_N \frac{\Delta d_A}{7d_N}, \quad (3)$$

– для угла крена из-за подъёма носа

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{5}{7} \frac{\Delta d_A}{L}, \quad (4)$$

– для изменения осадки на миделе

$$\Delta d = \frac{4}{7} \Delta d_A, \quad (5)$$

где Δd_A – изменение осадки судна в точке А, равное координате её положения вдоль оси Z, зависящее от времени и координаты её положения вдоль оси X.

Решение сводится к анализу уравнения энергетического баланса во времени

$$m \cdot (1 + \mu) \cdot v_N^2 / 2 = \Delta_N \cdot \Delta d + E_T + E_C + \dots, \quad (6)$$

где μ – коэффициент присоединённой массы; $\Delta_N \cdot \Delta d$ – потенциальная энергия всплытия судна; E_T – энергия на преодоление сил трения; E_C – энергия разрушения (смятия) грунта.

Другие затраты энергии (на деформации корпуса, на перемещения грунта и т.п.) полагаются малыми.

Методика расчетов

Если полагать, что вся начальная кинетическая энергия судна к концу взаимодействия переходит в потенциальную энергию его всплытия, то решение уравнения (6) возможно в замкнутом виде. При этом величины носовой реакции и дифферента судна можно оценить с завышением (в безопасную сторону). Носовая реакция для уравнения (1)

$$R_{ON} \cong (1 + \mu) \frac{\Delta_N v_N^2}{8gd_N}, \quad (7)$$

где коэффициент присоединённой массы можно определить по [7]

$$\mu = \frac{\pi d_N^2 L \gamma_w}{4\Delta_N}. \quad (8)$$

Угол дифферента судна за счет посадки на грунт с ходу для уравнения (1)

$$\psi_{ON} \cong \arctg \left(\frac{6R_{ON}d_N}{\Delta_N L} \right). \quad (9)$$

Энергия, затраченная на преодоление сил трения, определяется путем интегрирования работы сил трения на соответствующем перемещении

$$E_T = \int_s k_F R_N(s) ds. \quad (10)$$

Энергию, затраченную на разрушение (смятие) грунта, можно оценить путем интегрирования с определением объёма разрушенного грунта

$$E_C = R_0 \iiint_V F(x, y, z) dx dy dz, \quad (11)$$

где R_0 – сопротивление грунта (напряжения смятия).

Для решения уравнения (11) необходимы параметры формы корпуса в зоне контакта с грунтом, а также условие, ограничивающее глубину внедрения корпуса в грунт.

На рис. 2 представлена схема принятой формы корпуса в районе точки А. Корпус имеет килеватость, заданную углом к горизонту. Сечения объёма смятия грунта, перпендикулярные к его поверхности, имеют треугольные формы, а площадь зоны смятия в фиксированный момент времени представлена в виде ромба, несимметричного к оси Y.

Рис. 2. Схема к определению параметров внедрения корпуса в грунт

Условие, ограничивающее степень внедрения корпуса в грунт, можно представить для силы давления на грунт в виде

$$P \leq R_N \cos \psi_N. \quad (12)$$

В Правилах РС заложена формула, связывающая давления грунта с площадью зоны контакта А,

$$p = 10d_N(1 + 4/\sqrt{A}). \quad (13)$$

Это позволяет записать условие (12) в виде

$$10d_N(A + 4 \cdot \sqrt{A}) \leq \Delta_N \frac{x \cdot \operatorname{tg} \psi_N - h_z}{7d_N} \cos \psi_N. \quad (14)$$

Представим площадь зоны контакта в функции от h_z – проекции глубины внедрения точки А на ось Z

$$A \cong h_z^2 / (\operatorname{tg} \beta \cdot \sin \psi_N). \quad (15)$$

В результате при равенстве в условии (14) получаем уравнение с решением в виде

$$h_z = \frac{\sqrt{b^2 - 4ac} - b}{2a}, \quad (16)$$

где
$$a = \frac{10d_N}{\operatorname{tg} \beta \cdot \sin \psi_N}, \quad b = \frac{40d_N}{\sqrt{\operatorname{tg} \beta \cdot \sin \psi_N}} + \Delta_N \frac{\cos \psi_N}{7d_N}, \quad c = -\Delta_N \cos \psi_N \frac{x \cdot \operatorname{tg} \psi_N}{7d_N}.$$

Для малых интервалов смещения судна Δx – приращение объёма смятия грунта на i -м шаге

$$\Delta V_i \cong \Delta x \cdot h_{zi}^2 / \operatorname{tg} \beta. \quad (17)$$

Алгоритм расчетов

На основе представленной методики нами разработаны алгоритм расчетов параметров взаимодействия судна с грунтом и программа *ShipGround*. Укрупнённая блок-схема алгоритма расчётов представлена на рис. 3. Процесс взаимодействия разбивается на малые интервалы смещений судна в направлении оси X. На каждом интервале движения уточняется координата положения точки А вдоль оси Z с учетом глубины погружения в грунт (16).

Рис. 3. Укрупнённая блок-схема алгоритма расчетов взаимодействия судов с грунтом

На каждом интервале движения кинетическая энергия судна соответственно уменьшается на сумму приращений потенциальной энергии всплытия, затрат энергии на смятие грунта и на преодоление сил трения

$$\frac{mv_{x,i+1}^2}{2} = \frac{mv_{x,i}^2}{2} - (\Delta P_{i+1} + \Delta E_{C,i+1} + \Delta E_{T,i+1}). \quad (18)$$

Время процесса к концу каждого интервала движения определяется с учётом средней скорости движения на данном интервале

$$t_{i+1} = t_i + \frac{\Delta x}{0,5(v_{x,i} + v_{x,i+1})}. \quad (19)$$

Численное интегрирование для параметров взаимодействия выполняется по методу трапеций. Такой метод для выпуклых функций дает погрешность в сторону занижения. Это относится и к функции изменения кинетической энергии в процессе взаимодействия.

Процедура расчётов завершается условием равенства нулю остаточной кинетической энергии судна. При расчётах оценивается погрешность и определяются важные параметры процесса взаимодействия – перемещения, углы дифферента, проекции скоростей, ускорений и усилий.

Варьирование коэффициента трения о грунт, сопротивления грунта и формы корпуса в зоне контакта позволяет анализировать их влияние на процесс. В предельных случаях можно отказаться от учета смятия грунта и/или трения для оценки степени их влияния на процесс.

Результаты расчетов и обсуждение

Тестовые расчёты проведены на разных судах и в различных условиях. Ниже представлены расчеты для эксплуатационных сценариев взаимодействия, когда скорости движения судна лежат в диапазоне от 1 до 3 узлов. Углы грунта приняты в диапазоне от 3 до 9 градусов. Коэффициент трения варьировался в диапазоне 0,4–0,8. Сопротивление грунта изменялось от 100 до 600 кПа. Углы килеватости днища в зоне контакта изменялись в диапазоне от 15 до 75 градусов.

Одним из объектов для тестовых расчётов выбрано специализированное судно проекта DCV 61 Морского инженерного бюро (рис. 4) водоизмещением 865 т: расчетная длина – 46 м, ширина – 8,8 м, осадка – 2,5 м.

Расчеты показали, что величина угла дифферента судна за счет посадки на грунт с ходу мала. Так, при скорости 3 узла его величина не превышает 1/20 от угла грунта и практически может не учитываться. Величина вертикальной реакции и другие параметры могут существенно меняться.

На рис. 5 для указанного судна даны графики изменения горизонтальных скоростей, кинетической энергии и ускорений на дистанциях торможений при скоростях 1, 2 и 3 узла. Очевидно, что ускорения невелики – порядка 2–3% от ускорений свободного падения.

Рис. 4. Специализированное судно проекта DCV 61 Морского инженерного бюро

Рис. 5. Изменение горизонтальных скоростей, кинетической энергии и ускорений на дистанциях торможения (начальные скорости 1, 2 и 3 узла)

На рис. 6 показаны изменения вертикальных реакций (в % от водоизмещения) во времени. Рисунок иллюстрирует, что периоды действия нагрузок составляют несколько секунд и превышают периоды свободных колебаний корпуса первого тона.

Расчеты показывают (рис. 7), что основная доля кинетической энергии (от 85 до 98%) переходит в потенциальную энергию положения (всплытия) судна. На преодоление трения уходит от 2 до 12% энергии. Энергия смятия грунта мала и не превышает 3%. Данные оценки получены при коэффициенте трения 0,6 и сопротивлении грунта – 300 кПа.

Расчеты при варьировании коэффициентов трения в диапазоне 0,4–0,8, а также сопротивлении грунта 100–600 кПа показали их незначительное влияние как на вертикальную реакцию, так и на время периода взаимодействия.

Рис. 6. Вертикальные реакции в зависимости от времени для скоростей 1, 2 и 3 узла

Рис. 7. Влияние начальных скоростей на доли (%) от начальной кинетической энергии судна

Варьирование углами грунта (рис. 8) в диапазоне 3–9 градусов показало их несущественное влияние на вертикальную силу. При этом увеличение угла грунта существенно (более чем в 2 раза) уменьшает период времени взаимодействия.

Варьирование углами килеватости днища (рис. 8) в диапазоне 15–75 градусов показало также несущественное влияние на вертикальную силу. При этом увеличение угла килеватости способно существенно (до 2 раз) увеличить период времени взаимодействия. Для судна заданных размеров и выбранных мест (условий) десантирования у капитана остаются в управлении следующие параметры: скорость движения, эксплуатационный дифферент и направление движения, с отклонением от перпендикулярного к урезу воды. Последнее уменьшает расчетный угол наклона грунта, но приведёт к крену судна.

Рис. 8. Влияние углов наклона грунта и килеватости днища на вертикальную силу и время взаимодействия: точки – базовые значения, не изменяемые при варьировании других параметров

При тех же условиях у проектанта есть выбор таких параметров, как конструктивный дифферент и углы килеватости в зоне контакта с грунтом. Последний параметр может меняться в широком диапазоне и не только за счет формы корпуса, но также применением защитных конструкций типа фальшкилей и скегов. Это позволяет увеличить период времени взаимодействия и дистанцию торможения при снижении ускорений.

Сравнение сил взаимодействия

Представленная методика и результаты расчётов показывают широкие возможности в части учета влияния ряда параметров на процесс взаимодействия судов с грунтом. Остаются вопросы сравнений. Для этого вернёмся к эмпирической формуле (2), которая является результатом обобщения теоретических и экспериментальных работ. К сожалению, формула не идеальна с позиции теории подобия и размерностей, согласно которой сила пропорциональна произведению массы и ускорения в первой степени. Наличие в формуле (2) сразу

двух числовых коэффициентов также не говорит в её пользу. Неудобство для применения данной формулы представляет и величина вертикальной скорости.

Формально при взаимодействии с грунтом вертикальная скорость носа судна изменяется от нуля, затем достигает максимума, после которого снижается до нуля к концу взаимодействия. Результаты расчетов вертикальных скоростей носа для выбранного судна (рис. 4) даны на рис. 9 при скоростях движения 2 и 15 узлов. Для расчётов по формуле (2) и сравнений дополнительно оценивались средние значения вертикальных скоростей как отношение пути точки А вдоль оси Z ко времени периода взаимодействия. При движении на скорости 15 узлов значение средней вертикальной скорости составило 0,3 м/с.

Сравнения сил взаимодействия показали следующее.

Рис. 9. Изменения вертикальных скоростей носа судна в функции от дистанции торможения

- При скорости движения 5 узлов вертикальная реакция – 25,7 т по методике и 26,8 т – по формуле (2), отличие – 3,8%;
- при скорости 10 узлов – реакции 67,5 и 64,1 т, отличие +5,3%;
- при скорости 15 узлов – реакции 111 и 104 т, отличие +6,5%.

Таким образом, согласование хорошее даже в области высоких скоростей движения судов, что позволяет рекомендовать методику для анализа и аварийных сценариев.

Закключение

Результаты работы показали, что предложенная нами методика обеспечивает широкие возможности для оценки параметров взаимодействия судов с грунтом как при эксплуатационных, так и при аварийных сценариях. Полученные формулы (7) и (9) для оценки параметров при посадке судна на грунт с ходу могут быть рекомендованы для включения в Правила РС. Анализ влияния основных параметров на процесс взаимодействия показал пути возможного приложения методики к задачам проектирования и эксплуатации специализированных судов. Развитие исследований возможно в направлении совершенствования конструкций специализированных судов, а также безопасности при авариях с посадкой на грунт обычных судов, включая танкеры.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азовцев А.И., Евенко В.И., Кулеш В.А., Кутейников М.А., Огай А.С., Петров В.А. Предложения по развитию требований к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2016. № 42–43. С. 47–58.

2. Герман А.П., Кулеш В.А., Фам Чунг Хиеп. Разработка схем усиления судна для взаимодействия с грунтом // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. 2020. Т. 12, № 5. С. 915–925.
3. Корабли ВМФ СССР: справочник: в 4 т. Т. 4. Десантные и минно-тральные корабли. СПб.: Галей Принт, 2007. 188 с.
4. Кулеш В.А., Азовцев А.И. Опыт приведения судна к условиям класса NAABSA (посадка на грунт) // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 2, № 1(47). С. 69–76.
5. Кулеш В.А., Чунг Хиеп Фам. Специализированные суда и развитие морской инфраструктуры Вьетнама // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2020. № 3(44). С. 60–70. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-3-6>
6. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. Ч. 17, раздел 15. Требования к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт (суда NAABSA). СПб., 2020. С. 258–269.
7. Симачков Г.В., Марченко Д.В., Шхинек К.Н. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия судов с преградами. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1979. 184 с.
8. Ottesen Hansen N.-E., Simonsen B.C., Sterndorff M.J. Soil mechanics of ship beaching. Coastal Engineering. 24th International Conference on Coastal Engineering. Kobe, Japan. 1995, 3030–3044 p. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784400890.219>
9. Pedersen T.P., Zhang S. Absorbed energy in ship collision and grounding – Revising Minorsky's Empirical Method. J. of Ship Research. 2000;44(2):140–154.
10. Rules for the Classification of Ships. Det Norske Veritas. DNV. Part 1, Chapter 2, Naval landing craft. NAABSA, 2019.
11. Rules for the Classification of Steel Ships. Bureau Veritas. BV. Part F, Chapter 11, Section 11, Strengthbottom, 2019.
12. Simonsen B.C. Mechanics of Ship Grounding. PhD thesis, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering. Technical Univ. of Denmark. 1997, 265 p.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 3/48

Theory of Ship and Construction Mechanics

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-5>

Kulesh V., Pham Trung Hiep

VICTOR KULESH, Doctor of Engineering Sciences, Professor (Corresponding Author),

ScopusID: 6701344400, vkulesh@mail.ru

PHAM TRUNG HIEP, Postgraduate Student, phiepast07@gmail.com

Polytechnic Institute,

Far Eastern Federal University

Vladivostok, Russia

Method for calculating the parameters of vessels interaction with the ground

Abstract: Vessel's interaction with the ground can be accidental and operational. Vessel groundings are more often associated with navigation errors, which are characterized by relatively high speeds of movement and significant damage to the hulls – up to fractures. The operational interactions of vessels with the ground are often carried out in the absence of forward speed during the drainage process due to low tides in the places of cargo operations. Where necessary, vessels maintain relatively low speeds of movement. The rules of a number of classification societies regulate the level of strength of the vessel hulls and assign them the appropriate marks in the class notations, for example NAABSA. However, the methods for analyzing the parameters of the safe vessels interaction with the ground need to make changes. In particular, this concerns calculation and limiting speed of vessel movement at the moment of contact with the ground to reduce interaction force. The paper proposes the author's method for assessing the parameters of vessel interaction with the ground in a

quasi-static setting. The analysis of the influence of the main parameters is carried out. The possibility of applying the methodology at the design stage and in the operation of ships is noted.

Keywords: vessel hull, interaction with the ground, method for calculating the parameters

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Azovtsev A.I., Evenko V.I., Kulesh V.A., Kuteynikov M.A., Ogay A.C., Petrov V.A. Proposals for the development of requirements for vessels operating on the ground. Scientific and Technical J. of the Russian Maritime Register of Shipping. 2016(42/43):47–58.
2. German A.P., Kulesh V.A., Pham Trung Hiep. Development of the vessel strengthening schemes for ground contact. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2020;12(5):915–925.
3. Ships of the USSR Navy. Reference in 4 volumes. Vol. 4, Landing and minesweeping ships. St. Petersburg, Galley Print, 2007, 188 p.
4. Kulesh V.A., Azotsev A.I. Experience in adjusting the vessel to the conditions of the NAABSA class (landing on the ground). Marine Intellectual Technologies. 2020(47):69–76.
5. Kulesh V.A., Pham Trung Hiep. Specialized ships and development of Vietnam's marine infrastructure. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2020(3):60–70. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-3-6>
6. Rules for the Classification and Shipbuilding. Russian Maritime Register of Shipping. RMRS. Part XVII. 15. Requirement for vessels operating on the ground (NAABSA vessels). St. Petersburg, 2020, 258–269 p.
7. Simakov G.V., Marchenko D.V., Shkhinek K.N. Theoretical and experimental studies of the interaction of ships with obstacles. Publisher of the Leningrad University. 1979, 184 p.
8. Ottesen Hansen N.-E., Simonsen B.C., Sterndorff M.J. Soil mechanics of ship beaching. Coastal Engineering. 24th International Conference on Coastal Engineering. Kobe, Japan. 1995, 3030–3044 p. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784400890.219>
9. Pedersen T.P., Zhang S. Absorbed energy in ship collision and grounding – Revising Minorsky's Empirical Method. J. of Ship Research. 2000;44(2):140–154.
10. Rules for the Classification of Ships. Det Norske Veritas. DNV. Part 1, Chapter 2, Naval landing craft. NAABSA, 2019.
11. Rules for the Classification of Steel Ships. Bureau Veritas. BV. Part F, Chapter 11, Section 11, Strengthbottom, 2019.
12. Simonsen B.C. Mechanics of Ship Grounding. PhD thesis, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering. Technical Univ. of Denmark. 1997, 265 p.